

СТРУКТУРА РАСХОДА ОБМЕННОЙ ЭНЕРГИИ И ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОГО ОБМЕНА НА МОЛОЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ

Мохов Борис Павлович, доктор биологических наук, профессор кафедры «Частная зоотехния, технология животноводства и аквакультура»

Шабалина Елена Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Частная зоотехния, технология животноводства и аквакультура»

ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: 8 (8422) 44-30-62,

e-mail: shabalina.73@yandex.ru

Ключевые слова: обменная энергия, основной обмен, продуктивность, теплопродукция, пищевые реакции.

В статье приводятся данные по структуре расхода обменной энергии и влиянию базового метаболизма на молочную продуктивность. Предложены практические методы определения основного обмена по живой массе и пищевым реакциям, что позволяет изучать большие группы животных и обрабатывать экспериментальные данные методами биологической статистики с установлением вероятности проявления свойств в генеральной совокупности изучаемых объектов.

Введение

Обменная энергия, поступившая в организм, используется для обеспечения различных элементов жизнедеятельности животных. Это, прежде всего, дальнейшая диссимиляция, распад сложных органических соединений и выделение энергии, затем ассимиляция, образование новых веществ, расход и накопление энергии, которая впоследствии используется для синтеза и работы сердечнососудистой, дыхательной, нервной и других систем организма. Энергия затрачивается в процессе мышечной и продуктивной деятельности животных, а также при теплоотдаче.

Наиболее полным и доступным эквивалентом сравнения всех этих процессов являются затраты, выраженные в единых показателях энергии, работы, теплоты системы СИ – в джоулях (допустимо в ккал). Выбор теплоты не только оправдан с точки зрения равноценности критерия, он также информирует сообщество об экономических расходах на потребности, прихоти и капризы человека. Без необходимого количества тепла нет органической жизни.

Оценка кормов и потребностей организма по обменной энергии увеличили ин-

терес специалистов и научных работников к более широкому использованию биологических факторов повышения энергоэффективности производства [1].

В этом же плане формируется необходимость определения племенных и продуктивных качеств животных по их индивидуальным способностям усваивать питательные вещества, которые составляют от 35 до 40 % себестоимости молока, мяса, яиц и др.

Производство продуктов питания при снижении их себестоимости определяет актуальность этой проблемы.

Была поставлена цель: изучить структуру расхода обменной энергии у коров разной продуктивности, влияние основного обмена на функции питания и продуктивность с использованием методов биологической статистики. В кратности и продолжительности пищевых реакций, в интервалах между ними находят выражение потребности организма в питательных веществах и скорости их ассимиляции. Сигнальное значение этих реакций может быть использовано для оценки интенсивности основного обмена.

Объекты и методы исследований

По материалам племенного учета опытной станции изучены две группы бесту-

Структура расхода обменной энергии

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Группа 1 n = 12		Группа 2 n = 12		Группа 2 к группе 1	
			M±m	σ	M±m	σ	t _d	%
1	Живая масса	кг	539±20	69,2	621±21	74,0	2,8	115
2	Площадь поверхности тела	дм ²	5460±195	674,8	6258±208	719,6	2,8	115
3	Удой за 305 дней	кг	3382±156	541	4773±145	502	6,5	141
4	Среднесуточный удой	кг	9,7±0,6	2,14	17,6±0,8	2,76	7,8	181
5	Обменная энергия	МДж	117,3±4,2	14,6	164,5±5,8	20,0	6,6	140
	на 1 кг живой массы	МДж	0,22±0,012	0,041	0,27±0,009	0,031	3,1	123
	на 1 кг молока	МДж	12,4±0,55	1,91	9,4±0,21	0,73	5,1	76
6	Основной обмен	МДж	32,7±0,91	3,17	36,4±0,94	3,25	2,8	111
	на 1 кг живой массы	МДж	0,061±0,0006	0,002	0,059±0,0011	0,004	1,1	97
	на 1 кг молока	МДж	3,55±0,3	1,02	2,12±0,1	0,33	4,6	60
	в % к обменной энергии	%	27,9		22,3			
7	Выделено с молоком	МДж	23,6±1,5	5,18	42,8±1,9	6,69	7,8	181
	на 1 кг живой массы	МДж	0,045±0,004	0,013	0,069±0,003	0,011	4,9	153
	в % к обменной энергии	%	20,1	-	26,0	-	-	-
8	Теплопродукция	МДж	52,7±2,78	9,64	73,9±3,34	11,57	4,9	140
	на 1 кг живой массы	МДж	0,10±0,007	0,025	0,12±0,005	0,018	2,2	120
	на 1 дм ² поверхности тела	МДж	0,010±0,0007	0,002	0,012±0,0005	0,002	2,3	120
	на 1 кг молока	МДж	5,5±0,27	0,93	4,2±0,13	0,46	4,5	76
	в % к обменной энергии	%	44,9	-	44,9	-	-	-
9	Остальные расходы	МДж	8,2±0,3	1,02	11,5±0,4	1,4	6,6	140
	в % к обменной энергии	%	7	-	7	-	-	-
10	Энергозатратность, всего	у.ед.	4,0	-	5,6	-	-	140
	на 1 кг молока	у.ед.	0,4		0,3			75

жевских коров в возрасте трех отелов и старше, аналогичные по породности, экстерьеру и конституции и различающиеся по молочной продуктивности. Пониженная продуктивность – группа 1, повышенная – группа 2. Изучались потребность в обменной энергии, суточный надой в период исследования и молочная продуктивность за 305 дней лактации, пищевое поведение – численность и продолжительность приема корма и жвачного процесса, временные интервалы между актами еды и жвачки.

Динамика и структура расхода обменной энергии устанавливалась по затратам на основной обмен, производство молока, теплопродукцию и двигательную активность.

Уровень основного обмена определялся по формуле $P = 70 \cdot M^{0,75}$, [2]. Предложенный М. Кляйбером метод определения энергетических затрат успешно использовался С. Стояновским [3], Л. Проссером [4],

Н. Надальяком [5], К. Шмидт-Ниельсоном [6] и др. Продуктивные затраты устанавливались по энергетической оценке количества и качества молока, теплопродукция – по динамике температуры тела и окружающей среды (подробнее в журнале «Зоотехния», [7]), двигательная активность из расчета 2,0 – 2,6 ккал/час на кг массы [5].

Интенсивность ассимиляции питательных веществ в ходе основного обмена определялась по интервалам между разрозненными проявлениями жвачного процесса в течение суток, по скорости усвоения и затратам времени на использование энергии.

Спонтанное пробуждение жвачного процесса детерминируется минимальным смещением и восстановлением баланса прихода и расхода продуктов обмена при «внутриклеточном дыхании». При этом рост энтропии (неравновесия) в процессе жизнедеятельности полностью компенсируется

Таблица 2

Состояние основного обмена и пищевых реакций у коров разной продуктивности

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Группа 1 n = 12		Группа 2 n = 12		Группа 2 к группе 1	
			M±m	σ	M±m	σ	t _d	%
1	Основной обмен	МДж	32,7±0,91	3,17	36,4±0,94	3,25	2,8	111
	на 1 кг живой массы	МДж	0,061±0,0006	0,002	0,059±0,0011	0,004	1,1	97
	на 1 кг молока	МДж	3,55±0,3	1,02	2,12±0,10	0,33	4,6	60
2	Прием корма							
	продолжительность	мин.	295±15,5	53,8	324±13,1	45,5	1,4	110
	численность реакций	раз	16±0,8	2,66	17±0,8	2,64	0,4	106
	интервалы	мин.	92±5,6	19,3	89,6±5,6	19,4	0,3	97
3	Жвачный процесс							
	продолжительность	мин.	402±16,4	56,7	458±20,2	69,8	2,1	114
	численность реакций	раз	16,7±0,77	2,67	18,4±0,72	2,5	1,7	110
	интервалы	мин.	88,6±4,4	15,1	79,5±3,1	10,9	1,7	90
4	Ассимиляция за интервал	МДж	2,0±0,11	0,36	2,0±0,08	0,28	0,04	100
5	Затраты на 1 МДж	мин.	44,5±1,3	4,4	39,9±1,1	3,7	2,8	90
6	Ассимиляция за минуту	МДж	0,022±0,0007	0,002	0,025±0,0006	0,002	2,8	109

притоком питательных веществ, обеспечивая стационарное состояние [8] энтропии во времени.

В отличие от лабораторных методов, очевидно более точных, способ свидетельствует о динамике основного обмена на уровне целостного организма и доступен методам статистического анализа.

Метод использован при изучении адаптации и продуктивности у первотелок различного экогенеза [9], в условиях погодного стресса [10], у птиц разных кроссов [11].

Результаты исследований

В таблице 1 приведены показатели продуктивности и расхода обменной энергии у коров разной продуктивности.

В структуре расхода обменной энергии в зависимости от продуктивности затраты на основной обмен составляют 27,9 - 22,3 %, на продуктивность 20,1 - 26,0 %, на теплопродукцию 44,9 % и остальные расходы 7 %.

Основной обмен у коров с пониженной продуктивностью составил 32,7±0,9 МДж за сутки, у коров группы 2 – 36,4±0,9 МДж/сут. Достоверность различия составила t_d = 2,8, при вероятности прогноза проявления в генеральной совокупности P > 0,99.

Одним из главных показателей эф-

фективности основного обмена является его расход на синтез молока. У коров с пониженной продуктивностью он составляет 3,55±0,3, у коров группы 2 – 2,12±0,1, достоверность разницы составляет t_d = 4,6, а исследуемая группа животных принадлежит к генеральной совокупности при P > 0,999.

Бесспорное повышение сервисных расходов на более интенсивную работу пищеварительной и сердечнососудистой системы высокопродуктивных коров не приводит к росту затрат энергии основного обмена на единицу синтезированного молока, они снижаются на 40 %.

Установлена положительная корреляционная зависимость между затратами на основной обмен в МДж и среднесуточным надоем в кг. Для первой группы R = 0,24, для второй R = 0,32. Повышение интенсивности основного обмена на один МДж создает условия для повышения среднесуточного надоя на 0,24 – 0,32 кг. При более высоких показателях основного обмена у высокопродуктивных коров на его реализацию они затрачивают 22,3 % обменной энергии, а коровы с более низкими удоями – 27,9 %.

Не отрицая значение маммогенеза и лактопоеза, нельзя не обратить внимания

Таблица 3

Регрессионный анализ изучаемых показателей

№ п/п	Функция и аргумент	n	r	σ_1	σ_2	$R_{1/2}$
1	Среднесуточный удой Основной обмен за сутки	24	0,48	4,7	3,7	0,61
2	Среднесуточный удой Усвоено МДж за мин.	24	0,48	4,7	2,5	0,90
3	Среднесуточный удой Затрачено мин. на МДж	24	-0,39	4,7	4,5	-0,41

на возможные различия в тканевом дыхании у коров разной продуктивности, интенсивность которого определяется состоянием ферментных систем.

Влияние состояния молочной железы на уровень продуктивности выражается в значительном превосходстве расхода обменной энергии для синтеза молока у высокопродуктивных коров по сравнению с низкопродуктивными, которое, соответственно, составляет 26 % от перевариваемой энергии корма у первых и только 20 % у вторых.

Коровы группы 1 на один МДж питательности молока затрачивают 4,9 МДж энергии корма, а группы 2 – 3,8 МДж, то есть их рентабельность в энергетическом плане в 1,3 раза выше.

Состояние основного обмена и пищевых реакций приводится в таблице 2.

Пищевая активность – это ведущее звено общей системы поведения по обеспечению биологических потребностей животных. Оказывая существенное влияние на все функции организма, она является сигнальным элементом их состояния.

В отличие от реакций приема корма, численность которых возрастает в период раздачи, жвачный процесс осуществляется в течение суток более равномерно при снижении интервалов в ночное время. У коров группы 1 жвачный процесс проявляется 16,7±0,77 раз за сутки с интервалом 88,6±4,4 мин., у коров группы 2, соответственно, 18,4±0,72 раз, 79,5±3,1 мин.

За один интервал и те и другие используют одинаковое количество обменной энергии – по 2,0 МДж. Однако низкопродуктивные коровы ассимилируют один МДж обменной энергии за 44,5±1,3 мин, а высокопродуктивные за 39,9±1,1 мин., при вероятности прогноза $P > 0,99$.

За одну минуту у низкопродуктивных коров используется 0,023 МДж обменной энергии, у высокопродуктивных – 0,025 МДж.

Интенсивность и скорость ассимиляции – это одно из доказательств различия внутриклеточного обмена у коров различной продуктивности.

И в этом и в другом случае достоверность различий составляет $t_d = 2,8$, а это означает, что вероятность проявления повышенной интенсивности и скорости обменного процесса у высокопродуктивных коров в генеральной совокупности составляет $P > 0,99$.

В клетках конечный продукт диссимиляции является начальным этапом синтеза новых соединений, то есть эти процессы идут постоянно, они непрерывно и моментально связаны. Основным аргументом стабильности этих процессов является наследственная основа активности внутриклеточных ферментов. Именно этим объясняется незначительное разнообразие показателей основного обмена от 8 до 9 % и его интенсивности от 6 до 8 %.

Непрерывность и стабильность обменных процессов не исключают их ритмичности. Эволюционно сложившиеся внутренние ритмы метаболизма устойчиво сохраняются у домашних животных [4].

Так, продолжительность жвачного процесса у коров разной продуктивности в интактное, ночное время (стандартное по Л. Проссеру) больше по сравнению с дневным на 18–53 %, а интервалы короче на 36–24 %.

Снижение физиологически необоснованной двигательной активности – один из важных приемов повышения мясной и молочной продуктивности на основе оптимизации синтетических процессов в мышцах и железистой ткани молочной железы.

Неодинаковая скорость обменных

процессов в разных органах и тканях, нервно-гормональная передача сигнала о состоянии обмена энергии, внешние условия оказывают определенное влияние на формирование ритмичности пищевых реакций и рост изменчивости этих показателей в два раза. Так, коэффициент разнообразия реакции прием корма составляет $C = 14-18 \%$ и жвачки – $C = 13-15 \%$.

В табл. 3 приводятся результаты регрессионного анализа физиологической зависимости суточного удоя, в кг, от показателей основного обмена за сутки, в МДж.

В целом по всей группе изученных животных, без градации на продуктивность, физиологическое повышение основного обмена на один МДж предопределяет рост среднесуточного надоя на 0,61 кг. Аналогичные данные получены по другим показателям. Так, повышение продолжительности усвоения одного МДж энергии основного обмена приводит к снижению молочной продуктивности на 0,41 кг за сутки. При сравнении этих показателей с результатами регрессионного анализа по группам не трудно заметить их различие, что объясняется влиянием других систем организма и наличием криволинейности связей.

Организм животных – это открытая система, которая нуждается в постоянном притоке энергии для обеспечения внутриклеточного обмена веществ, сервисных процессов (пищеварение, дыхание и т.д.), продуктивной, мышечной, половой и другой деятельности. Переход энергии из одной формы в другую всегда сопровождается потерей в виде тепла, часть которого выделяется в среду обитания.

Все эти расходы являются источником нарастания состояния энтропии, которая сокращается в результате постоянного притока питательных веществ. Понятно, что периоды жвачки и интервалы между ними неразрывно связаны, но они являются следствием разных процессов. Начало, численность и продолжительность первого характеризует недостаток энергии в клетке – минимальный предел энтропии и постепенное восстановление стационарного состояния, второго – начальную стадию и продолжи-

тельность расхода питательных веществ в клетке и повышение градиента энтропии до минимального уровня, при котором возбуждается сигнал жвачного процесса.

Высокая зависимость секреции молока и молочной продуктивности от «уровня энергетического обмена, дыхания и кровообращения» установлена в работах И. Павлова (1887), Г. Азимова (1934), И. Грачева (1950) и др.

В работах И. Медведева [12], Г. Черепанова [13] на основании тщательного изучения динамики обменных процессов у лактирующих животных отмечается «отсутствие более высокой метаболической эффективности высокопродуктивных коров».

Вместе с тем хорошо известно, что «большинство компонентов молока образуется из веществ, приносимых кровью» [14]. Значительная часть этих веществ образуется в митохондриях клеток в результате основного обмена.

В обзоре Е. Надальяка, С. Стояновского [5] приводятся многочисленные примеры взаимодействия энергетического обмена и биосинтеза молока.

Очевидное несоответствие двух гипотез объясняется сложностью изучаемого явления, недостатком знаний о строении и функциях систем, участвующих в энергетическом обмене, об их взаимодействии и влиянии на продуктивные качества. Известно, что возбуждение жвачного процесса определяется недостатком элементарных продуктов распада питательных веществ для синтеза собственных белков, жиров, углеводов и других новых веществ, необходимых для замены отработавших свой срок. Это связь между биологическими основами жизнедеятельности и исполнительными органами, между аргументом и функцией, где управляющей системой является основной обмен, а управляемой – жвачный процесс.

В этом плане особое внимание уделяется ферментным системам, наследственная основа которых достаточно изучена и доказана [15].

В фундаментальной работе М. Диксона и Э. Уэбба [16] установлено, что одним из главных факторов, определяющих «началь-

ную скорость ферментативных реакций», является рН среды.

Оптимальное кислотно-щелочное равновесие обеспечивает высокую кинетическую активность ферментов. В работах В. Ковальского [17], Б. Мохова [18] установлено влияние рН на активность фермента 3.1.3.1. фосфогидролазы моноэфиров ортофосфорной кислоты (щелочной фосфатазы) и его связь с молочной продуктивностью.

В гликолизе и окислительном фосфорилировании, основных процессах тканевого дыхания участвует более 20 ферментов, имеющих неодинаковые оптимумы температуры, рН и других условий для их кинетики.

В этом процессе интегрированы в одно целое многочисленные ферментные реакции внутриклеточного дыхания и сервисные функции сердечнососудистой и нервной тканей, а также нейроромоны гипоталамуса и мышцы пищеварительных органов.

Многочисленность факторов затрудняет оценку влияния основного обмена на продуктивность и резистентность животных по «регуляторным» маркерам [13, 19, 20, 21].

Выводы

Затраты энергии на основной обмен у низкопродуктивных коров составляют 32,7 МДж за сутки, у высокопродуктивных 36,4 МДж, или на 11 % выше, при $t_d = 2,8$ и вероятности $P > 0,99$. Установленное различие по затратам основного обмена на один кг живой массы не отвечает требуемому порогу достоверности $t_d = 1,1$, при $P < 0,95$.

Низкопродуктивные коровы на один кг молока расходуют 3,55 МДж энергии основного обмена, высокопродуктивные – 2,12 МДж, или на 40 % меньше, $t_d = 4,6$, при $P > 0,999$. Первые используют для реализации основного обмена 27,9 % обменной энергии, вторые – 22,3 %. На синтез молока коровы группы 1 расходуют 20,1 % перевариваемой энергии, группа 2 – 26,0 %.

Низкопродуктивные коровы выделяют с молоком 23,6 МДж энергии, высокопродуктивные – 42,8%, или на 181 % больше. На один кг живой массы первые производят 0,045 МДж молочной продукции, вторые – 0,069 МДж, или на 153 % больше, при $t_d = 4,6$ и вероятности $P > 0,999$.

Ритмичность жвачного процесса у высокопродуктивных коров развита лучше по сравнению с низкопродуктивными.

Пониженное выделение теплопродукции у низкопродуктивных коров на один кг живой массы и один dm^2 поверхности тела может оказать негативное влияние на их адаптационные возможности. Скорость ассимиляции, интенсивность основного обмена у высокопродуктивных коров выше на 9 – 10 % при $t_d = 2,8$ и вероятности $P > 0,99$.

Экспериментально установленная интенсивность жвачного процесса и очевидность его связи с основным обменом позволяет дать оценку энергетических затрат на уровне целостного организма.

Энергоэффективность использования коров с повышенной продуктивностью в 1,3 раза выше по сравнению с низкопродуктивными.

Методы биологической статистики могут аппроксимативно отражать вектор взаимодействия обменных процессов и продуктивности на уровне целостного организма.

Библиографический список

1. Шманенков, Н.А. Руководство по физиологии. Физиология сельскохозяйственных животных / Н.А. Шманенков. – Л.: Наука, 1978. – 744 с.
2. Kleiber, M. The Fire of Life. An Introduction to Animal Energetics. New York, Wiley, 454 pp., 1961. – 317 с.
3. Стояновский, С.В. Возрастные особенности газоэнергетического обмена и источников энергии у домашних животных – Автореф. – Киев, 1965. – 20 с.
4. Проссер, Л. Температура. В кн. Сравнительная физиология животных / Л. Проссер, Ф. Браун. – М.: Мир. – 1967. – 729 с.
5. Надальяк, Е. Энергетический обмен у сельскохозяйственных животных. В кн. Физиология сельскохозяйственных животных / Е. Надальяк, С. Стояновский. – Л.: Наука, 1978. – 744 с.
6. Шмидт–Ниельсен, К. Размеры животных: почему они так важны?: монография / К. Шмидт–Ниельсен. - М.: Мир, 1987. - 260 с.
7. Мохов, Б.П. К вопросу методологии определения расхода обменной энергии

в организме животных разного генотипа и экогенеза / Б.П. Мохов, Е.П. Шабалина // Зоотехния. – 2014. - №8. – С. 10-11.

8. Пригожин, И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Наука, 1986. – 431 с.

9. Мохов, Б.П. Адаптация и продуктивность крупного рогатого скота различного экогенеза / Б.П. Мохов, А. Малышев, Е.П Шабалина // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. - №1. – С. 40-41.

10. Мохов, Б.П. Динамика и структура расхода обменной энергии в условиях погодного стресса / Б.П. Мохов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 2. – С. 119 – 126.

11. Наумова, В. Сравнительное изучение основного обмена, затрат корма и скорости роста молодняка кур разных кроссов / В. Наумова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 1. – С. 136 – 139.

12. Медведев, И.К. Проблемы биохимии и физиологии лактации в связи с задачами повышения продуктивности молочного скота / И.К. Медведев // Сельскохозяйственная биология. - №6. – 1986. – С. 13 – 25.

13. Черепанов, Г.Г. Биологические ресурсы и ограничения в совершенствовании молочного скота / Г.Г. Черепанов, И.К. Медведев, З.Н. Манар, Б.Д. Кальницкий // Сельскохозяйственная биология. - №4. – 2001. – С. 3 – 23.

14. Грачев, И. Физиология лактации / И. Грачев, В. Галанцев. – Л.: Наука, 1973. – 590 с.

15. Вагнер, Р. Генетика обмена веществ / Р. Вагнер, Г. Митчел. – М.: Иностранная литература, 1958. – 428 с.

16. Диксон М. Ферменты / М. Диксон, Э. Уэбб. – М.: Мир, 1966. – 816 с.

17. Ковальский, В.В. Химическая изменчивость внутренних сред организмов и ее эволюционное значение. В кн. Проблемы эволюционной и технической биохимии / В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1964. – С. 246 – 255.

18. Мохов, Б.П. Генетико-популяционный полиморфизм ферментов и их связь с продуктивностью. В кн. Крупный рогатый скот. Биологические и хозяйственные признаки / Б.П. Мохов. – Ульяновск: МСХ РФ, 2006. – С. 28 – 53.

19. Нежданов, А.Г. Нарушение воспроизводительной функции у высокопродуктивных молочных коров как следствие расстройств метаболических процессов / А.Г. Нежданов, В.А. Сафонов, К.А. Лободин, И.Ю. Венцова // Проблемы биологии продуктивных животных. - 2011. - № 4. - С. 91-93.

20. Лейбова, В.Б. Взаимосвязь между метаболическим статусом и воспроизводительной способностью у коров черно-пестрой породы / В.Б. Лейбова, И.Ш. Шапиев, И.Ю. Лебедева // Проблемы биологии продуктивных животных. - 2011. - № 4. - С. 70-72.

21. Порошина, Е.С. Влияние отрицательного энергетического баланса в послеродовой период на воспроизводительную функцию первотелок / Е.С. Порошина, И.И. Шавырин, И.В. Ранцева // Проблемы биологии продуктивных животных. - 2011. - № 4. - С. 110-113.